

Muuttuuko ajan kulkunopeus vai kellon värähtelytaajuus?

Avril Styrman

Luonnonfilosofian seuran teemailta *Suhteellisuusteoria* 30.10.2018

Sisältö

Vertaillaan Yleisen Suhteellisuusteorian (GR) ja Dynaamisen Universumin (DU) selityksiä atomikellojen taajuuksista. (Suntola 2018)

DU ja GR ennustavat taajuudet samalla tarkkuudella, mutta niiden selitykset ja selitysten mukana tulevat maailmankuvat ovat hyvin erilaisia.

GR:n selitys on tunnetusti ristiriidassa absoluuttisen samanaikaisuuden kanssa, kun taas DU on sen kanssa yhteenopiva.

Atomikello

Atomikello on ajan tarkin mittausväline. Atomikello sisältää atomeja, joiden värähtelevät elektronit pyörittävät kelloa. Kellon taajuus f on oskillaatioiden määrä, joita elektroni tekee kahden kvanttitalan välillä sekunnin kuluessa.

Toisaalta, sekunti määritellään aikana jonka kuluessa cesium-133 atomi värähtelee 9,192,631,770 kertaa.



Lukuisat testit osoittavat, että identtisillä atomikelloilla on eri taajuudet eri liiketiloissa (β) ja eri gravitaatiotiloissa (δ). (Hafele & Keating 1972, Allan et al. 1985). Sekä DU:n että GR:n mukaan kellon gravitaatiopotentiaali ja nopeus vaikuttavat sen taajuuteen seuraavasti:

Mitä suurempi on kellon nopeus, sitä pienempi on sen taajuus. Mitä pienempi on kellon nopeus, sitä suurempi on sen taajuus (SR).

Mitä suurempi on kellon gravitaatiopotentiaali –etäisyys ECI framen massakeskipisteestä– sitä suurempi on sen taajuus. Mitä pienempi on kellon etäisyys massakeskipisteestä, sitä pienempi on sen taajuus.

DU ja GR (Schwarzschildin ratkaisu) antavat havaintoja vastaavat ennusteet kellon taajuudesta f . Tulosten ero on mittaustarkkuutta pienempi ECI framessa.

$$\text{DU: } f = f_0(1 - \delta)\sqrt{1 - \beta^2} \quad \text{GR: } f = f_0\sqrt{1 - 2\delta - \beta^2}$$

f_0 on hypoteettisen referenssikellon taajuus, mikä on levossa riittävän kaukana massakeskipisteestä, eli tilassa $\beta=0$ ja $\delta=0$.

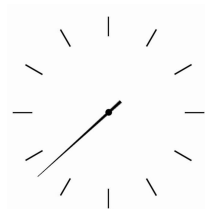
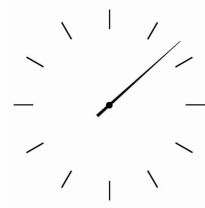
$\beta=v/c$ kuvaa kellon liiketilan vaikutusta sen taajuuteen.

$\delta=Gm/rc^2$ kuvaa kellon gravitaatiotilan vaikutusta sen taajuuteen.

G on gravitaatiovakio, m on massa mikä määrittää ECI framen, r on kellon etäisyys massakeskipisteestä, ja c on valonnopeus. (Suntola 2018, ch. 5.2.1.)

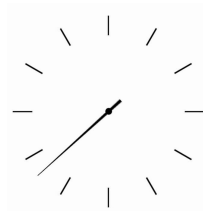
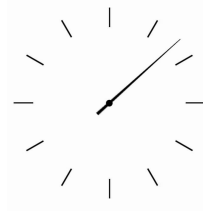
Miksi kellot näyttävät eri lukemia?

- Mitä suurempi on kellon etäisyys merenpinnasta sitä suurempi on sen taajuus. Mitä pienempi on kellon etäisyys merenpinnasta, sitä pienempi on sen taajuus.



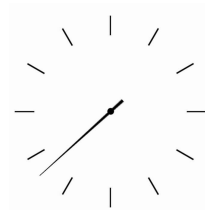
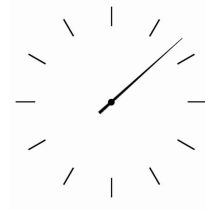
DU:n selitys

Korkeammalla oleva kellon taajuus on suurempi kuin Maan pinnalla olevan kellon taajuus. Siksi kello myös näyttää eri lukemaa. Taajuuksien erot johtuvat kellojen gravitaatioiloista.



GR:n selitys

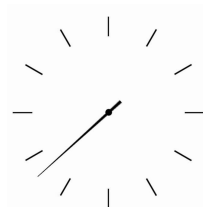
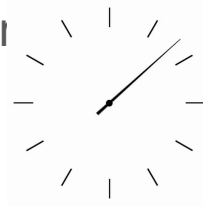
Korkeammalla oleva kello kokee ajan kulun eri tavalla, mikä johtuu sen gravitaatiotilasta. Kellon taajuus ei muutu, vaan kellon paikallinen ajan kulkunopeus on nopeampi kuin Maan pinnalla. Korkeammalla ollut kello on ehtinyt käydä enemmän maan pinnalla olevan kellon näkökulmasta, koska sillä on ollut enemmän aikaa käydä.



DU vs. GR

DU: Korkeammalla olevan kellon taajuus on suurempi kuin Maan pinnalla olevan kellon taajuus.

GR: Korkeammalla olevan kellon taajuus on sama kuin Maan pinnalla olevan kellon taajuus, mutta korkeammalla oleva kello kokee ajan kulun eri tavalla kuin Maan pinnalla oleva kello, ja sillä on ollut enemmän aikaa käydä.



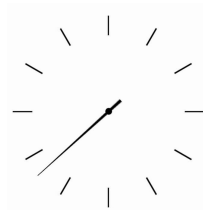
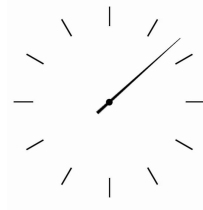
DU vs. GR selitysten seuraukset

DU: absoluuttinen samanaikaisuus säilyy.

GR: absoluuttinen samanaikaisuus tuhoutuu.

Reinhardt et al. (2007) this
“abolishes the notion of
absolute time”

Chou et al. (2010) “we have to
give up our notions of
simultaneity”

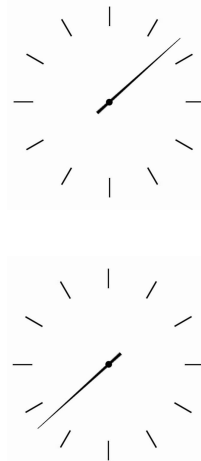


DU vs. GR selitysten seuraukset

DU: absoluuttinen samanaikaisuus säilyy.

GR: absoluuttinen samanaikaisuus tuhoutuu.

This seemed to destroy all sense of the reality of the external world and to leave the physical universe no better than a dream, or rather, a nightmare. If two physicists A and B agree to discuss a physical experiment, their agreement implies that they admit, in some sense, a common world in which the experiment is supposed to take place. Robb (1921)



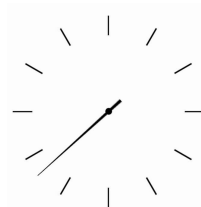
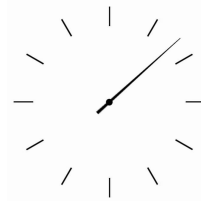
DU vs. GR selitysten seuraukset

DU: absoluuttinen samanaikaisuus säilyy.

GR: absoluuttinen samanaikaisuus tuhoutuu.

“at the same time” belongs not to a special science but to logic; ...Our practical grasp of this logic is not to be called into question on account of recondite physics; for without such a practical grasp we could not understand even elementary propositions of physics, so a physicist who casts doubt upon it is sawing off the branch he sits upon.

Geach (1972)



Lopuksi

DU: tieteellisen maailmankuvan voi ymmärtää, mutta tradition taakka on suuri.

GR: tieteellistä maailmankuvaa ei voi ymmärtää, mutta tradition tuki on suuri.



Viitteet

D. W. Allan, M. A. Weiss, and N. Ashby, *Science* 228, 69 (1985).

J. C. Hafele and R. E. Keating, *Science* 177, 166 (1972);

Tuomo Suntola. *The Dynamic Universe: Toward a Unified Picture of Physical Reality*, 4th ed. Physics Foundations Society & The Finnish Society for Natural Philosophy, Espoo and Helsinki, Finland, 2018.

Sascha Reinhardt, Guido Saathoff, Henrik Buhr, Lars A. Carlson, Andreas Wolf, Dirk Schwalm, Sergei Karpuk, Christian Novotny, Gerhard Huber, Marcus Zimmermann, Ronald Holzwarth, Thomas Udem, Theodor W. Hansch, and Gerald Gwinner. Test of relativistic time dilation with fast optical atomic clocks at different velocities. *Nature Physics*, 3(12): 861–864, 2007.

C.W. Chou, D.B. Hume, T. Rosenband, and D.J. Wineland. Optical clocks and relativity. *Science*, 329:1630–1633, Sept. 24, 2010.

Alfred A. Robb. *The Absolute Relations of Time and Space*. Cambridge: Cambridge University Press, 1921.

Peter Geach. *Logic Matters*. Oxford: Oxford University Press, 1972.